

POROVNANIE LOKÁLNYCH PARAMETROV SEIZMICKÉHO POHYBU PRE VODNÉ
DIELO GABČÍKOVO

COMPARING OF LOCAL SEISMIC MOTION PARAMETERS FOR GABČÍKOVO WATER
DAM

Abstract

According to Slovak seismic standard only acceleration values and acceleration seismic response spectrum are used for expressing of seismic motion. But there exist many seismic motion parameters whose more detailed characterize seismic motion. Our purpose is to study the influence of several kilometers of gravel and sands on seismic motion. In the paper, there are compared seismic motion parameters on free surface with those on basement.

Úvod

Na vyjadrenie parametrov seizmického pohybu sa v seizmickom inžinierstve okrem špičkových hodnôt zrýchlenia či doby trvania zemetrasenia používa celý rad parametrov, ktoré lepšie popisujú seizmický pohyb, než iba samotné zrýchlenie. Stupeň poškodenia konštrukcie súvisí s celkovou energiou uvoľnenou počas zemetrasenia a nie iba so hodnotou zrýchlenia, ktorá sa v súčasnosti používa v zmysle STN 73 0036 na výpočet seizmického zaťaženia. Tieto parametre sú podobné, ako sa používajú na vyjadrenie popisu a prenosu signálov v iných oblastiach. (Leššo, 2004).

Parametre seizmického pohybu

Okrem maximálneho zrýchlenia PGA (Peak Ground Acceleration), maximálnej rýchlosti kmitania PGV (Peak Ground Velocity) a maximálnej výchylky PGD (Peak Ground Displacement) sa na vyjadrenie pohybu používajú efektívne hodnoty týchto parametrov - zrýchlenie RMS, rýchlosť RMS, výchylka RMS (RMS - root-mean-square - efektívna hodnota) (Bommer - Martínez - Pereira, 1999) a pomer maximálnej rýchlosti kmitania ku maximálnemu zrýchleniu V_{max} / A_{max} .

Ďalší parameter, ktorý sa používa, je Ariasova intenzita AI (Arias intensity), ktorá je definovaná ako suma štvorcov hodnôt zrýchlení zo záznamov silných pohybov (Arias, 1970). Ariasova intenzita vyjadruje energiu uvoľnenú pri zemetrasení a je to jeden z parametrov, na základe veľkosti ktorého môžeme posúdiť, či môže dôjsť ku zosunu alebo ku stekutiu pieskov počas seizmickej udalosti. Ariasova intenzita je ovplyvnená amplitúdou, frekvenčným zložením a trvaním seizmického pohybu.

Z efektívnej hodnoty zrýchlenia sa odvodza charakteristická intenzita I_c (Characteristic Intensity), ktorú definoval Ang (1990) a ktorá je v lineárnom vzťahu ku indexu konštrukčného poškodenia v dôsledku maximálnych deformácií a absorbovanej energie. Hz.

Integráciou absolútnych hodnôt akcelerogramu zemetrasenia získame kumulatívnu absolútnu rýchlosť CAV (Cumulative Absolute Velocity) a integráciou kvadrátov hodnôt rýchlosti kmitania získame špecifickú hustotu energie SED (Specific Energy Density), oba parametre súvisia s energiou uvoľnenou počas seizmickej udalosti.

Integráciou spektra seizmickej odozvy pre oblasť periód 0.1 až 0.5 sekundy (Von Thun et al., 1988) získame intenzitu spektra zrýchlenia ASI (Acceleration Spectrum Intensity) a integráciou

¹ RNDr., CSc., Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, viskup@nic.fns.uniba.sk

² Doc., RNDr., CSc., Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, janotka@nic.fns.uniba.sk

spektra seizmickej odozvy rýchlosti kmitania pre oblasť periód 0.1 - 2.5 sekundy získame intenzita spektra rýchlosti VSI (Velocity Spectrum Intensity).

Trvalé maximálne zrýchlenie SMA (Sustained Maximum Acceleration) trvalá maximálna rýchlosť SMV (Sustained Maximum Velocity) sú definované ako tretia najvyššia absolútna hodnota zrýchlenia resp. rýchlosti počas troch cyklov na akceleroграme resp. velocigrame (Nuttli 1979).

Efektívne návrhové zrýchlenie EDA (Effective Design Acceleration EDA) zodpovedá maximálnej hodnote zrýchlenia po nízkofrekvenčnej filtrácii s rohovou frekvenciou (cut-off frequency) 9 Hz (Benjamin and Associates, 1988).

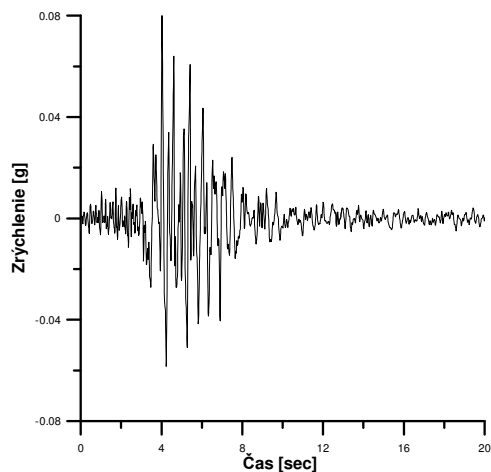
A95 parameter (Sarma - Yang, 1987) je úroveň zrýchlenia, ktorá zodpovedá 95% Ariasovej intenzity.

Prevládajúca perióda T_p (Predominant Period) je perióda, v ktorej sú maximálne hodnoty spektrálneho zrýchlenia v spektre seizmickej odozvy vypočítané pre 5% útlm, prevládajúca frekvencia f_p (Predominant Frequency) je prevrátená hodnota prevládajúcej periódy (Juhásová 1985). Stredná perióda T_m (Mean Period) podľa autorov Rathje et al. (1998) najlepšie vyjadruje frekvenčný obsah seizmického signálu a v seizmickom inžinierstve sa počíta pre frekvencie 0.25 - 20Hz. Stredná perióda sa počíta podobne ako v teórii signálov sumovaním kvadrátov koeficientov Fourierových amplitúd (Leššo, 2004). Stredná frekvencia f_m (Mean Frequency) je prevrátená hodnota strednej periódy.

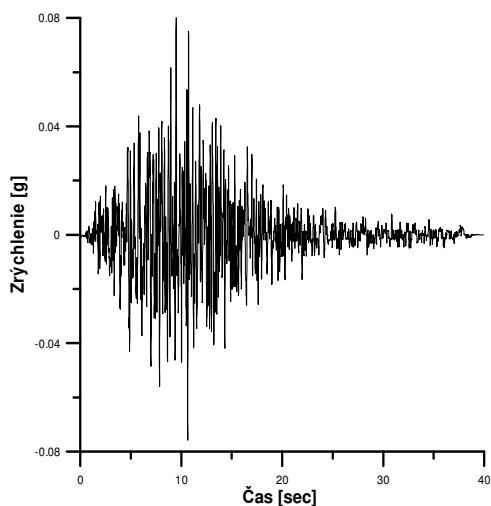
Výpočet parametrov seizmického pohybu

Výpočet parametrov seizmického pohybu bol vykonaný pre Vodné dielo Gabčíkovo. Cieľom výpočtov v tomto prípade nebolo len zistiť samotné kvantitatívne hodnoty týchto parametrov, ale tiež zistiť, v akej miere sa podieľa 3150 m mocné súvrstvie štrkov a pieskov na zmenách týchto parametrov.

Zdrojový akceleroqram
Friuli, Italy, 6.5.1976



Zdrojový akceleroqram
Loma Prieta, 18.10.1989



Obr.1 Zdrojové akceleroqramy – vľavo Friuli, Taliansko, vpravo Loma Prieta, USA

S cieľom zohľadniť dĺžku trvania signálu a jeho frekvenciu, boli na výpočet použité dva zdrojové akceleroqramy a to zo zemetrasenia Friuli v Taliansku (Obr. 1., vľavo) a zo zemetrasenia Loma Prieta v USA (Obr.1, vpravo). Akceleroqram Friuli použil Ing. Polko vo výpočtoch seizmického zaťaženia pseudostatickou metódou pri projektovaní Vodného diela Gabčíkovo. Záznam zemetrasenia Friuli je 20 sekúnd so vzorkovaním 0.01 sekundy, záznam zemetrasenia Loma Prieta je

40 sekúnd so vzorkovaním 0.05 sekundy. Oba akcelerogramy boli normované na hodnotu 0.08g. Táto zodpovedá hodnote zrýchlenia pre skalný podklad.

Vo výpočtoch sme vychádzali z už publikovaných materiálov o seizmicite v tejto oblasti (Schenk - Schenková - Kottbauer - Guterch - Labák - 2000), berúc do úvahy i známy Kővesligetttiho vzťah pre magnitúdo (Kaláb - Knejzlík 2003), a z doteraz vykonaných výpočtov (Viskup 2003). Vypočítali sme akcelerogram zemetrasenia na voľnom povrchu terénu pre oba zdrojové akcelerogramy a porovnali sme parametre seizmického pohybu v podloží súvrstvia a na voľnom povrchu terénu. Porovnali sme tiež vzájomne pomery v podloží a na voľnom povrchu pre obe zemetrasenia.

Výsledky výpočtov sú uvedené v Tab.1, Tab.2 a Tab.3. a zhrnuté sú v závere. Na základe porovnania hodnôt parametrov seizmického pohybu na voľnom povrchu terénu a na skalnom podklade môžeme konštatovať, že na voľnom povrchu je maximálne zrýchlenie nižšie v porovnaní s maximálnym zrýchlením na skalnom podklade. Nižšie sú tiež hodnoty parametrov seizmického pohybu odvodené z akcelerogramov - intenzita spektra zrýchlenia ASI, trvalé maximálne zrýchlenie SMA, efektívne návrhové zrýchlenie EDA a parameter A95. Prejavil sa tu útlm seizmického vlnenia v mocnom súvrství štrkov a pieskov. Ostatné parametre, odvodené zo seizmogramov a velocigramov, majú vyššiu hodnotu na voľnom povrchu v porovnaní s podloží. Frekvencia vlnenia je podstatne nižšia na voľnom povrchu v porovnaní s podkladom, vysokofrekvenčné zložky sú viac pohlcované v porovnaní s nízkofrekvenčnými. Potvrdila sa tiež skúsenosť, že veľkosť parametrov seizmického pohybu a ich zmena závisí od výberu zdrojového akcelerogramu. Najmarkantnejšie sa to prejavilo pri parametroch odvodených z rýchlosti kmitania.

Záver

Na základe porovnania hodnôt parametrov seizmického pohybu na voľnom povrchu terénu a na skalnom podklade môžeme konštatovať, že:

1. Na voľnom povrchu terénu je maximálne zrýchlenie nižšie v porovnaní so zrýchlením v podloží. Je to v dôsledku absorbčných vlastností 3 150 m mocného súvrstvia štrkov a pieskov, v ktorom prevládli absorbčné vlastnosti nad zosilnením amplitúd v dôsledku odlišnosti v akustických odporoch..
2. Následne sú parametre intenzita spektra zrýchlenia ASI, trvalé maximálne zrýchlenie SMA, efektívne návrhové zrýchlenie EDA a parameter A95, odvodené z akcelerogramu zemetrasenia na voľnom povrchu, nižšie v porovnaní so skalným podkladom.
3. Maximálna rýchlosť kmitania a maximálna výchylka na voľnom povrchu sú vyššie v porovnaní s maximálnou rýchlosťou a maximálnym posunutím na skalnom podklade. Následne parametre seizmického pohybu odvodené z rýchlosti kmitania a posunutia majú vyššiu hodnotu na voľnom povrchu v porovnaní s podloží.
4. Frekvencia vlnenia je podstatne nižšia na voľnom povrchu v porovnaní s podkladom. Je to v dôsledku toho, že koeficient absorpcie je závislý na frekvencii, vysokofrekvenčné zložky sú viac pohlcované v porovnaní s nízkofrekvenčnými.
5. Veľkosť parametrov a ich zmena závisí od výberu zdrojového akcelerogramu. Najmarkantnejšie sa to prejavilo pri parametroch odvodených z rýchlosti kmitania.

Tab.1 Vypočítané parametre seizmického pohybu pre zdrojový akceleroqram Friuli

Vypočítané parametre seizmického pohybu Friuli	Podložie	Voľný povrch	Pomer povrch/podložie
Maximálne zrýchlenie	0.08g	0.068376g	0.855
Maximálna rýchlosť	5.22816592cm/sec	11.09985314cm/sec	2.123
Maximálna výchylka	1.28737742cm	3.49747052cm	2.717
Vmax / Amax:	65.35207406sec	162.33551443sec	2.484
Zrýchlenie RMS:	0.01133186g	0.01412495g	1.246
Rýchlosť RMS:	0.93222268cm/sec	1.95957108cm/sec	2.102
Výchylka RMS:	0.45969063cm	1.10279323cm	2.399
Ariasova intenzita	0.03955517m/sec	0.06151909m/sec	1.555
Charakteristická intenzita (Ic):	0.00539335	0.00750938	1.392
Specific Energy Density:	17.37209204cm2/sec	76.8367754cm2/sec	4.423
Kumulatívna absolútna rýchlosť (CAV):	0.12108568cm/sec	0.15509569cm/sec	1.281
Intenzita spektra zrýchlenia (ASI):	0.06849553g	0.06698734g	0.978
Intenzita spektra rýchlosti (VSI):	20.77174687cm/sec	36.38038536cm/sec	1.751
Trvalé maximálne zrýchlenie (SMA):	0.060735g	0.05321g	0.876
Trvalá maximálna rýchlosť (SMV):	3.22332075cm/sec	5.82139624cm/sec	1.806
Efektívne návrhové zrýchlenie (EDA):	0.07877495g	0.06804665g	0.864
A95 parameter:	0.07899367g	0.06716876g	0.850
Prevládajúca perióda (Tp):	0.26sec	0.52sec	2.000
Stredná perióda (Tm):	0.3859497sec	0.62983232sec	1.632
Prevládajúca frekvencia (fp):	3.846 Hz	1.923 Hz	0.500
Stredná frekvencia (fm):	2.591 Hz	1.5877 Hz	0.613

Tab.1 Vypočítané parametre seizmického pohybu pre zdrojový akceleroqram Loma Prieta

Vypočítané parametre seizmického pohybu Loma Prieta	Podložie	Voľný povrch	Pomer povrch/podložie
Maximálne zrýchlenie	0.08g	0.065088g	0.814
Maximálna rýchlosť	3.83172223cm/sec	9.28589339cm/sec	2.423
Maximálna výchylka	1.55758153cm	32.4393795cm	20.827
Vmax / Amax:	65.35207406sec	162.33551443sec	2.484
Zrýchlenie RMS:	0.01259516g	0.01319687g	1.048
Rýchlosť RMS:	0.92815479cm/sec	2.17427854cm/sec	2.343
Výchylka RMS:	0.50858397cm	18.31107021cm	36.004
Ariasova intenzita	0.09765897m/sec	0.10722636m/sec	1.098
Charakteristická intenzita (Ic):	0.00893437	0.00958279	1.073
Specific Energy Density:	34.4157789cm2/sec	188.88675062cm2/sec	5.488
Kumulatívna absolútna rýchlosť (CAV):	0.29895011cm/sec	0.33285331cm/sec	1.113
Intenzita spektra zrýchlenia (ASI):	0.07195313g	0.06400512g	0.890
Intenzita spektra rýchlosti (VSI):	19.23040275cm/sec	37.89200437cm/sec	1.970
Trvalé maximálne zrýchlenie (SMA):	0.061678g	0.053011g	0.859
Trvalá maximálna rýchlosť (SMV):	3.77251643cm/sec	8.01034569cm/sec	2.123
Efektívne návrhové zrýchlenie (EDA):	0.07642045g	0.06505695g	0.851
A95 parameter:	0.07858753g	0.06393882g	0.814
Prevládajúca perióda (Tp):	0.16sec	0.54sec	3.375
Stredná perióda (Tm):	0.31147984sec	0.67269873sec	2.160
Prevládajúca frekvencia (fp):	6.25 Hz	1.8518519 Hz	0.296
Stredná frekvencia (fm):	3.2104811Hz	1.4865496 Hz	0.463

Tab.1 Pomery parametrov seizmického pohybu

Pomer parametrov seizmického pohybu	Pomer povrch/podložie Friuli	Pomer povrch/podložie Loma Prieta
Maximálne zrýchlenie	0.855	0.814
Maximálna rýchlosť	2.123	2.423
Maximálna výchylka	2.717	20.827
Vmax / Amax:	2.484	2.484
Zrýchlenie RMS:	1.246	1.048
Rýchlosť RMS:	2.102	2.343
Výchylka RMS:	2.399	36.004
Ariasova intenzita	1.555	1.098
Charakteristická intenzita (Ic):	1.392	1.073
Specific Energy Density:	4.423	5.488
Kumulatívna absolútna rýchlosť (CAV):	1.281	1.113
Intenzita spektra zrýchlenia (ASI):	0.978	0.890
Intenzita spektra rýchlosti (VSI):	1.751	1.970
Trvalé maximálne zrýchlenie (SMA):	0.876	0.859
Trvalá maximálna rýchlosť (SMV):	1.806	2.123
Efektívne návrhové zrýchlenie (EDA):	0.864	0.851
A95 parameter:	0.850	0.814
Prevládajúca perióda (Tp):	2.000	3.375
Stredná perióda (Tm):	1.632	2.160
Prevládajúca frekvencia (fp):	0.500	0.296
Stredná frekvencia (fm):	0.613	0.463

Literatúra

- [216] STN 73 0036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, Bratislava, 1997, 60 s.
- [217] Ang, A.H.S. (1990): Reliability bases for seismic safety assessment and design. Proceedings, 4th US National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Palm Springs, Vol.1, pp.29-45.
- [218] Arias, A. (1970): "A measure of earthquake intensity," in Seismic Design for Nuclear Power Plants (ed. R.J. Hansen), MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 438-483.
- [219] Bardet, J.P., Lin, C.H., Idriss, I.M. (1988): SHAKE 98. A computer program for equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits, University of Southern California, Department of Civil Engineering. 41 p.
- [220] Benjamin, J.R., Associates (1988): A criterion for determining exceedance of the Operating Basis Earthquake, EPRI Report NP-5930, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- [221] Bray, J., Travarasrou, T. (2002): Ground motion intensity measures that correlate to engineering demand parameters. University of California, Berkeley, 27 p.
- [222] Bommer, J.J., Martínez-Pereira, A. (2000): Strong-motion parameters: definition, usefulness and predictability, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, Paper no. 206.
- [223] Doležalová, H., Kaláb, Z., Knejzlík, J. (2004): Experimentální měření rychlosti kmitání na povrchu v karvinské oblasti. In: Geotechnika 2004. 9. ročník mezinárodní konference. Zborník referátov. - Stupava, Orgware 2004. - S. 471-476.

- [224] Juhássová, E. (1985): Pôsobenie seizmických pohybov na stavebné konštrukcie. VEDA, SAV, Bratislava, 264 str.
- [225] Kaláb, Z., Knejzlík, J. (2003): Monitorování seismicity východního okraje Českého masivu soliterními stanicemi ÚGN. In: Nové výsledky seismologických, geofyzikálních a geotechnických průzkumů. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava 119- 129.
- [226] Leššo, I. (2004): Teória signálov pre priemyselnú informatiku. Technická univerzita Košice, Fakulta Berg, 316 str.
- [227] Nuttli, O.W. (1979): The relation of sustained maximum ground acceleration and velocity to earthquake intensity and magnitude, Miscellaneous Paper S-71-1, Report 16, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- [228] Ondrášik, R., Rybář, J. (1991): Dynamická inžinierska geológia, Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava, 269 s.
- [229] Rathje, E.M., Abrahamson, N.A., Bray, J.D. (1998): Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 2, 150-159.
- [230] Sarma, S.K., Yang, K.S. (1987): An evaluation of strong motion records and a new parameter A95, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 15, pp. 119-132.
- [231] Schenk, V., Schenková, Z., Kottbauer, P., Guterch, B., Labák, P. (2000): Earthquake hazard for the Czech Republic, Poland and Slovakia - contribution to the ILC/IASPEI Global seismic hazard assessment program, Natural Hazards, 21, 331-345.
- [232] Viskup, J. (2003): Spektrá seizmickej odozvy pre lokalitu Gabčíkovo. In: Výpočtové metódy v seismológii, inžinierske geofyzice a geotechnice, Kaláb Z. (ed.), Ústav geoniky AV ČR, Ostrava – Poruba, 253 – 258.
- [233] Von Thun, J.L., Rochim, L.H., Scott, G.A., Wilson J.A. (1988): Earthquake ground motions for design and analysis of dams, Earthquake Engineering and Soil Dynamics II - Recent Advances in Ground-Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication, Vol. 20, 463-481.